

Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Institut Strojírenské Technologie

Studium PVD povlaků

Study of the PVD Coatings

Student:

Jan Velčovský

Vedoucí bakalářské práce:

doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.

Ostrava 2012

Zadání bakalářské práce

Student: **Jan Velčovský**
Studijní program: B2341 Strojírenství
Studijní obor: 2303R002 Strojírenská technologie
Téma: Studium PVD povlaků
Study of the PVD Coatings

Zásady pro vypracování:

1. Prostudujte technologii aplikace tenkých povlaků metodou PVD.
2. Prostudujte vlastnosti povlaků PVD.
3. Prostudujte aplikace povlaků PVD v praxi.
4. Navrhněte metodiku experimentálních prací pro hodnocení vlastností povlaků PVD.
5. Zpracujte technickou zprávu.

Seznam doporučené odborné literatury:


- MOHYLA, M.: *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80-248-1217-7.
- PODJUKLOVÁ, J.: *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80-7078-235-8.
- BURAKOWSKI, T., WIERZCHOŃ, T.: *Surface Engineering of Materials*. CRC Press LLC, 1999. 592 s. ISBN 0-8493-8225-4.

Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí bakalářské práce: **doc. Ing. Jitka Podjuklová, CSc.**

Datum zadání: 16.12.2011

Datum odevzdání: 21.05.2012


prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.
vedoucí katedry




prof. Ing. Radim Farana, CSc.
děkan fakulty



Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2012

.....
podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou (bakalářskou) práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou (bakalářskou) práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová (bakalářská) práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové (bakalářské) práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou (bakalářskou) práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě 21.5.2012

.....
podpis studenta

Jméno a příjmení autora práce:

Jan Velčovský

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Nový Malín 261, Nový Malín

Anotace bakalářské práce

VELČOVSKÝ, J. Studium PVD povlaků : bakalářská práce. Ostrava : VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta Strojní, Katedra mechanické technologie, 2012, 45s. Vedoucí práce: doc. Ing. Podjuklová Jitka, CSc.

Tato bakalářská práce na téma „Studium PVD povlaků“ hodnotí současný stav technologií nanášení povlaků a to černění, niklování a metodu PVD, pro aplikaci na tělesa řezných nástrojů. V první části je popsána teorie PVD povlakování, poté se práce zabývá chemickým povlakováním. V poslední části jsou navrženy experimentální metody zkoušení povrchu povlaků a to zkouška v korozní komoře a zkouška kalotestem. Na základě teoretických poznatků, výsledků experimentálních prací a technologicky ekonomického zhodnocení lze doporučit povrchovou úpravu chemickým niklováním.

Anotation of bachelor thesis

VELČOVSKÝ, J. Study of the PVD coatings: bachelor thesis. Ostrava: VSB - Technical University of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2012, 45s. Thesis head: doc. Ing. Podjuklová Jitka, CSc.

This bachelor thesis on "Study of PVD coatings" describes the current state of blackening, nickel plating and PVD technologies, for application to cutting tools holders. The first part describes the theory of PVD coating, then the work deals with the chemical coating. In the last section are designed experimental methods for testing surface coatings with corrosion in the test chamber and calo testing. Based on theoretical knowledge and the results of experimental work and technology-economic results is recommended chemical coating.

Obsah

Úvod	9
1 Studie PVD povlakování	10
1.1 Naprašování	11
1.1.1 Naprašovací zařízení	11
1.1.2 Druhy naprašování	11
1.1.3 Výhody naprašování	12
1.1.4 Nevýhody naprašování	12
1.2 Napařování	13
1.2.1 Druhy napařování	13
1.2.2 Výhody obloukového odpařování	14
1.2.3 Nevýhody obloukového odpařování	14
1.3 Iontová implantace	15
2 Chemické niklování	16
2.1 Princip	16
2.2 Vlastnosti povlaků vyloučených při bezproudém niklování	18
2.3 Základní důvody pro používání bezproudých niklovacích lázní	18
2.4 Základní typy bezproudých niklovacích lázní	18
2.4.1 Kyselé nikl-fosforové lázně	18
2.4.2 Nikl-boronzové lázně	19
2.4.3 Polyslitinové lázně	19
2.4.4 Kompozitní povlakové lázně	19

2.5	Základní vlastnosti vyloučených povlaků.....	19
2.5.1	Magnetismus	19
2.5.2	Elektrická rezistivita.....	20
2.5.3	Pájitelnost a svařitelnost.....	20
2.5.4	Adhese - přilnavost	20
2.5.5	Tloušťka povlaků	20
2.5.6	Lesk povlaků	21
2.6	Vlastnosti povlaků Ni-P v závislosti na obsahu fosforu	21
3	Dělení galvanických lázní – primární lázněvé složky	22
3.1	Soli obsahující vyloučený kov	22
3.1.1	Fluoroboritany se používají v těchto lázních	22
3.2	Látky působící na rozpustnost anod.....	23
3.3	Látky působící na průběh katodových dějů	23
3.4	V lázních se vyskytují různé nečistoty, které je poškozují	24
3.5	Příprava a kontrola galvanických lázní.....	24
4	Černění	25
5	Metody zkoušení korozivzdornosti	26
5.1	Expoziční metoda	26
5.1.1	Všeobecné zásady pro provádění expozičních metod.....	26
5.1.2	Zkouška úplným ponorem.....	27
5.2	Zkouška v korozní komoře	28
5.2.1	Zkušební zařízení	28

5.2.2 Zkušební roztok.....	28
5.2.3 Zkušební vzorky.....	29
5.2.4 Doba trvání zkoušky	30
5.3 Zkouška v kondenzační komoře	30
5.3.1 Zkušební zařízení	30
5.3.2 Zkušební prostředí.....	30
5.3.3 Zkušební vzorky.....	31
6 Návrh metodiky experimentálních prací.....	32
6.1 Popis experimentálních materiálů.....	32
6.1.1 Zkouška otěruvzdornosti kalotestem.....	32
6.2.1 Korozní zkouška povlaků dle ČSN EN ISO 9227	35
7 Závěrečné zhodnocení práce	41
7.1 Technicko ekonomické zhodnocení.....	41
7.1.1 Výhody Chemického povlakování.....	41
7.1.2 Nevýhody Chemického povlakování	41
7.1.3 Výhody PVD povlakování	41
7.1.4 Nevýhody PVD povlakování	42
7.2 Resumé.....	43
8 Použitá literatura.....	44

Úvod

Cílem bakalářské práce je studium metody povlakování PVD, která je aplikována z důvodu zvýšení odolnosti a řezivosti vyměnitelných břitových destiček povlakem (TiN). Dále se metoda PVD aplikuje k povlakování těl obráběcích nástrojů až po zdobení hodinek povlakem zlata.

Těla fréz jsou povlakována z důvodů protikorozních, estetického důvodu a také jako mechanická ochrana proti odlétajícím šponám. Je otázkou, zda-li je nutné k tomuto účelu používat povlaky metodou PVD z hlediska ekonomického a nebo použít levnější variantu nanášení povlaku chemickým způsobem.

Chemické niklování bylo vyvíjeno už v druhé polovině 19.století. První patent na tuto technologii byl přihlášen v roce 1916, ale širší využití této technologie bylo zaznamenáno až po roce 1946. Chemické niklování je poměrně náročná metoda povlakování, protože se pracuje při teplotách kolem 90 stupňů Celsia a jsou požadovány velké nároky na čistotu a přesnost při niklování. Chemické niklování od svého vzniku prošlo spoustou vývojových stupňů, ale princip této metody zůstal stejný.

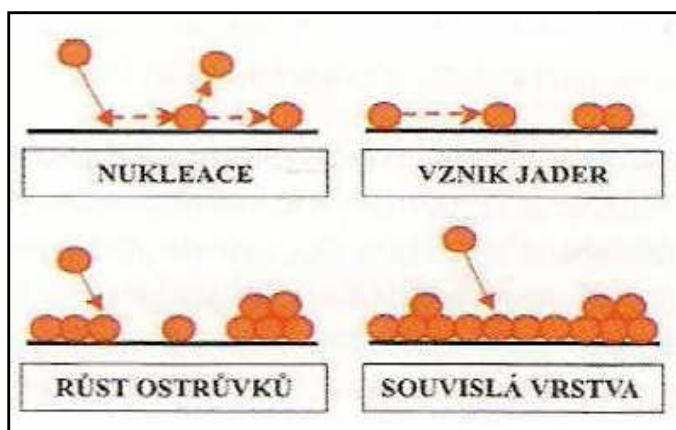
Černění, nebo-li brunýrování je obvyklým způsobem barvení ocelových výrobků pro dekorativní a částečně pro antikorozní účely.

Je žádoucí docílit jasného výsledku při zkouškách a určit, který z povlaků bude nejvhodnější použít pro povlakování.

1 Studie PVD povlakování

Metodou PVD jsou povlaky vytvářeny srážením částic atomů za malého tlaku (0,1 až 1 Pascalů). Částice se uvolňují ze zdrojů (terčů) fyzikálními metodami a to rozprašováním a nebo oprašováním. Tyto uvolněné částice, které jsou ionizovány reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a neinertní plyn například ($\text{Ar} + \text{N}_2$). Částice jsou záporným předpětím urychlovány k povrchu substrátu, kde jsou usazovány v tenké vrstvě homogenního povlaku. [4]

Z jednotlivých odpadajících atomů se vytváří vrstva povlaku. Schopností tuhých látek poutat plyny a roztoky (sorpcí), jsou atomy zachycovány na povrchu. Po něm se pohybují a jsou zachyceny trvalou vazbou, nebo jsou zpátky uvolňovány. Pomocí pohyblivosti se tak další atomy, které dopadají na povrch zase spojují s vazbou už dříve zachycenými atomy, vytvářejí se tak jádra, potom ostrůvky. Spojováním ostrůvků se postupně vytváří vrstva. Ta roste a zvyšuje tloušťku povlaku. [4]



Obr.1 Vznik PVD povlaku [4]

Při této metodě můžeme povlakovat i ostré hrany. Na rozdíl od CVD metody, kde je to dost obtížné. Největší nevýhodou PVD metody je, že potřebuje složitý vakuový systém a rotační držáky k upevnění povlakovaných nástrojů, aby se povlak nanášel rovnoměrně. [4]

Metodou PVD je povlak nejčastěji vytvářen

- naprašováním
- napařováním
- iontovou implantací [4]

1.1 Naprašování

Naprašování se děje depozicí částic, které se oddělují z povrchu zdroje fyzikálním odprašovacím procesem. Naprašování probíhá ve vakuu nebo při nízkém tlaku, který je menší než 0,7 Pascalů, kdy se částice na povrch substrátu dostanou bez kolise s molekulami plynu, v prostoru mezi zdrojem a substrátem. [4]

1.1.1 Naprašovací zařízení

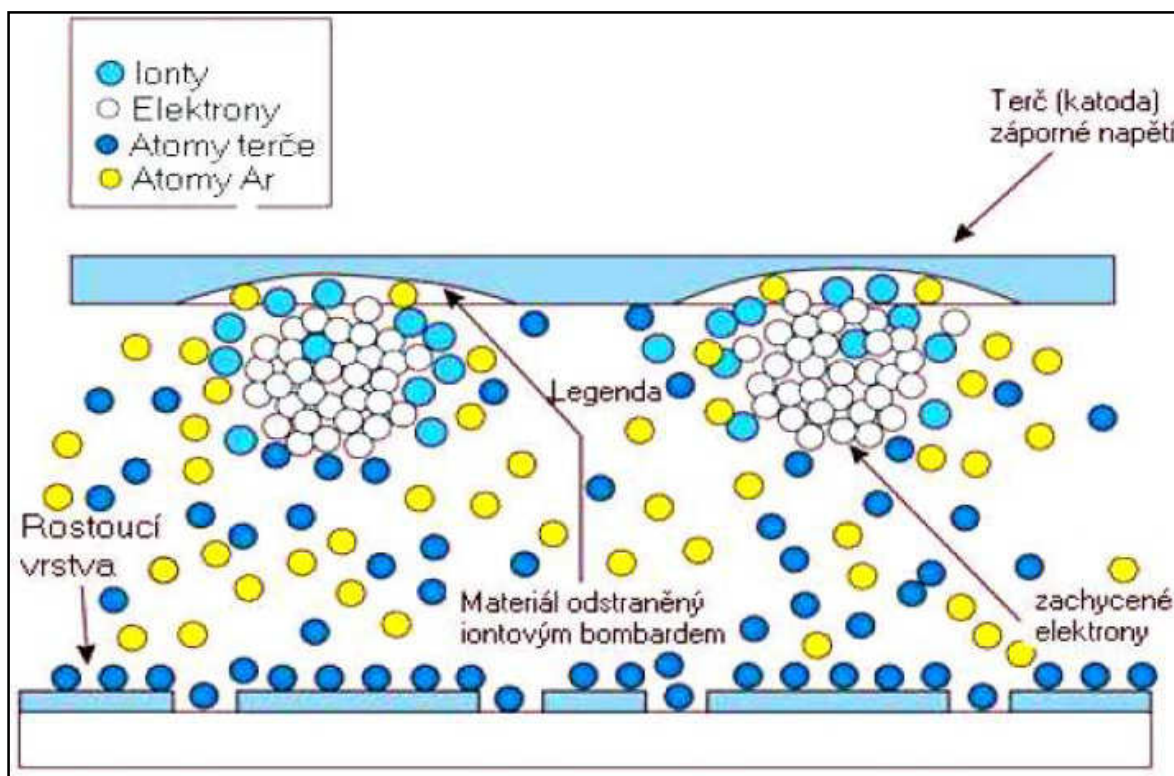
Naprašovací zařízení se skládá s katody (terče) vyrobené z materiálu, který má být nanášen, držáku substrátu, odprašovacího plynu, vakuové komory, čerpacího systému a zdroje energie. [4]

1.1.2 Druhy naprašování

- doutnavým výbojem
- naprašování magnetonové
- naprašování radiofrekvenční
- naprašování iontovým paprskem [4]

Naprašování doutnavým výbojem je nejjednodušším systémem naprašování, díky snadnosti výroby terče z různých materiálů, se často používá. Rychlost depozice je nízká.

Magnetické naprašování má největší využití, jeho hlavní výhodou je odprašování libovolných materiálů i slitin i nevodičů. [4]



Obr.2 Naprašování Magnetronové [4]

1.1.3 Výhody naprašování

- Možnost umístění terče a substrátu blízko sebe
- Velmi malé zatížení tepelnou radiací
- Vysoká životnost odprašovaného terče
- Terč je stabilním zdrojem par
- Terč může mít různé tvary
- Malý objem depoziční komory [4]

1.1.4 Nevýhody naprašování

- Velké množství energie, která dopadá na terč se mění na teplo, které musíme odvádět
- Špatné využití materiálu
- Vysoká cena terčů

- Nízká intenzita naprašování oproti intenzitě tepelného odpařování
- Vysoké vnitřní pnutí v povlaku [4]

1.2 Napařování

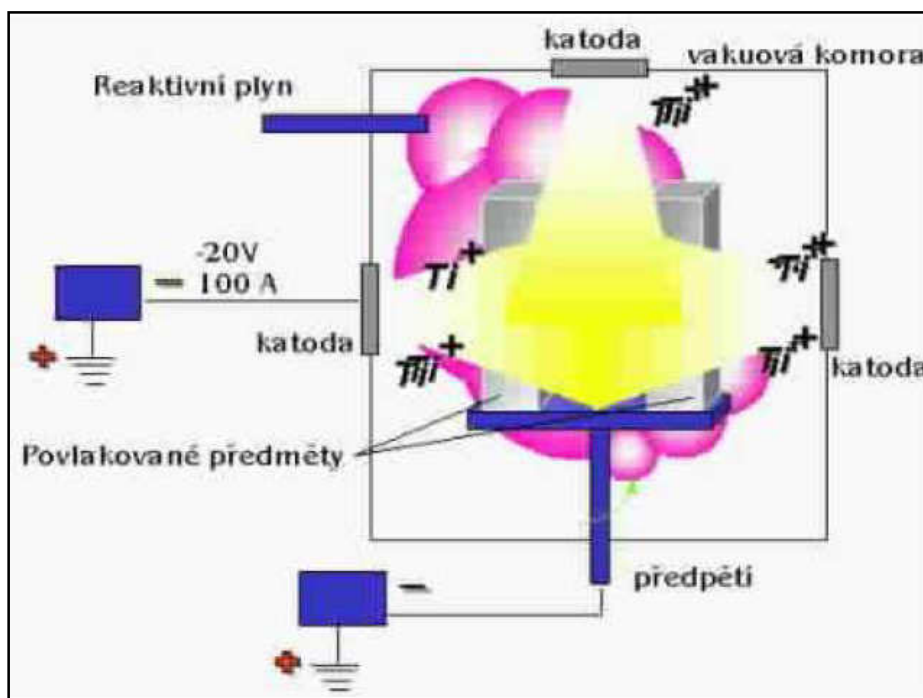
Materiál je při napařovací metodě odpařován pomocí elektrického oblouku, svazkem elektronů nebo odporovým ohřevem. Vysílané atomární částice reagují s atmosférou komory. [4]

Tvoří ji inertní a neinertní plyn ($\text{Ar} + \text{N}_2$) a s tepelnou energií (0,1 až 0,5 eV) dopadající na povrch substrátu a usazují se jako tenká, homogenní vrstva povlaku s velkou přilnavostí spojeného s podkladem. [4]

1.2.1 Druhy napařování

- Napařování odporové
- Napařování elektronovým paprskem
- Napařování obloukové
- Napařování laserové [4]

Odpařování obloukové se děje pomocí nízkonapěťového elektrického oblouku a za určitých podmínek, je materiál odpařován. Hoření oblouku musí probíhat při nízkém tlaku. Ve vakuové komoře – anoda- hoří po celé ploše. Terč – katoda – hoří jen bodově. Substráty v rotačních držácích rozmístíme systematicky. Vše musí probíhat řízeně. [4]



Obr.3 Odpařování obloukové [4]

1.2.2 Výhody obloukového odpařování

- Variabilní uspořádání
- Můžeme odpařovat všechny vodivé materiály
- Efektivní ionizace díky plazmovému oblouku
- Malé zatížení tepelnou radiací
- Malé znečištění terče (nižší než u naprašování) [4]

1.2.3 Nevýhody obloukového odpařování

- Jedinou nevýhodou je, že můžeme odpařovat pouze vodivé materiály [4]

1.3 Iontová implantace

Iontová implantace je kombinace napařování a naprašování. Mezi zdrojem materiálu odpařovaného a substrátem se vytváří silné elektrické pole, kde dochází k elektrickému výboji v plynné atmosféře. Tento výboj ionizuje částice plynu i odpařené částice z terčů. Iontovou reakcí vzniká povlak, který se usazuje na povrchu substrátu. [4]

Z důvodu požadavku firmy se zaměřuji dále na chemické niklování a černění. Firma přestala z ekonomických důvodů PVD povlaky používat, protože razantně zdražovaly hotové výrobky, v našem případě těla fréz. Zjistilo se totiž, že pro tyto účely dostatečně postačí i galvanické pokovování a mým úkolem je zjistit, který z povlaků je pro tento účel nejvhodnější.

2 Chemické niklování

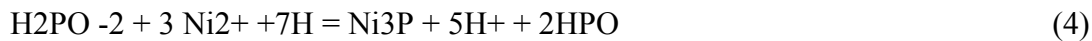
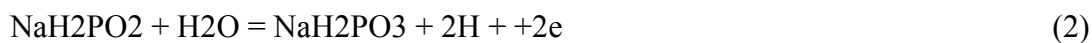
Jeho velkou výhodou oproti jiným galvanickým procesům je hloubková účinnost lázně, to znamená, že různé dutiny a nerovné povrchy se rovněž velmi dobře upravují. Jsou i často výhodnější pro některé speciální využití. Jen vylučovací rychlost ve srovnání s jinými galvanickými procesy je daleko menší. Proto se vyvinulo pro různé speciální aplikace více různých typů bezproudých niklovacích lázní. [7]



Obr.č.4 Fréza s niklovou povrchovou úpravou

2.1 Princip

Základní chemická reakce na autokatalytickou redukci niklových iontů na kov.



Jsou různé hypotézy na reakční mechanismus. Nejvíce vlivu na vylučování niklu má pravděpodobně vznikající atomární vodík, jak ho vidíme ve vzorci. Toto se vztahuje k niklovací alkalické lázni. Používají se též niklovací kyselé lázně bezproudé, kde potom nedochází k rozpouštění základního kovu. [7]

Potom můžeme vylučovat niklovací povlaky tímto i na stříbro, mosaz, ocel, měď, hořčík, hliník a na nějaké jeho slitiny. Též můžeme použít vylučování niklu i na keramiku, sklo a plasty, ovšem po předešlé aktivaci. [7]

Při chemickém niklování mohou též stopová množství kovů například olovo, molybden, zinek, cín, wolfram, bismut, kadmium, antimon, arzen působit v roztoku jako katalytické jedy, které však za určitých velmi dobře definovaných podmínek zároveň působí i jako stabilizátory lázní. Ovšem ionty těchto kovů mohou způsobit i různé provozní potíže ! [7]

2.2 Vlastnosti povlaků vyloučených při bezproudém niklování

Vyloučený povlak je slitina nikl fosfor, u běžně používaných lázní bývá obsah fosforu do deseti procent. Kdežto u kyselých lázní bezproudých bývá obsah fosforu v povlaku vyšší. Když srovnáme niklové povlaky s galvanicky vyloučenými povlaky mívají bezproudové povlaky nižší pórovitost a tím pádem i vyšší korozní odolnost. [7]

Aby se povlak co nejlépe přichytil je potřeba zvýšit možnost zdrsněním povrchu, možno i předehrát, než vložíme předmět do niklovací lázně. Potom se přilnavost zvýší ještě tepelnou úpravou již hotového povlaku. [7]

Tento povlak dosahuje tvrdosti cca 500 HV, kterou můžeme ještě zvýšit dalším tepelným zpracováním. Například, když srovnáme galvanicky vyrobený povlak, má tento nižší tvrdost cca 300 HV. Také působení chemických vlivů je na bezproudé povlaky daleko šetrnější, zvyšují odolnost. Platí to nejvíce pro alkalické roztoky.

Niklový povrch bezproudý z kyselé niklovací lázně je neferomagnetický.[7]

2.3 Základní důvody pro používání bezproudých niklovacích lázní

- korozivzdornost
- otěruvzdornost
- zvýšená tvrdost
- povrch se stává kluzkým
- dobrá lepitelnost a pájitelnost
- stejnost vyloučeného povlaku bez ohledu na tvar pokovované plochy
- niklové vrstvy jsou nemagnetické a obsahují vyšší obsah fosforu[7]

2.4 Základní typy bezproudých niklovacích lázní

2.4.1 Kyselé nikl-fosforové lázně

Tyto lázně jsou vhodné na pokovování plastů, protože pracují při nízkých teplotách. Jelikož mívají obsah fosforu 3 až 4 procenta a jelikož jsou dobře pájitelné, používají se v elektronickém průmyslu. Mohou se též použít pro předniklování pozinkovaného hliníku a podobně.

1 – 3 % velmi nízký obsah fosforu

3 – 6 % nízký obsah fosforu

6 – 9 % střední obsah fosforu

9 – 12 % vysoký obsah fosforu[7]

2.4.2 Nikl-boronzové lázně

Aminoboran je u těchto lázní používán jako redukční činidlo. Tyto lázně jsou alkalického i mohou být kyselého typu a co je na nich dobré, je ještě větší tvrdost, než mají povlaky nikl - fosfor. Také mají vyšší bod tání. Používají se v elektronickém průmyslu, protože vyhovují svými specifickými vlastnostmi. Tyto povlaky mají 1 – 6 % boru.[7]

2.4.3 Polyslitinové lázně

To jsou lázně, které mohou vylučovat povlaky s několika prvky. Na příklad nikl-kobalt-fosfor, nikl-železo-fosfor, nikl-wolfram-fosfor atd. Tyto lázně mají pak své vlastní specifické použití. [7]

2.4.4 Kompozitní povlakové lázně

Kompozitní povlakové lázně mají ještě větší vylepšení v odolnosti proti otěru, můžeme říci špičkovou, kdy do povlaku nikl - fosfor v průběhu vylučování jsou zabudovány částičky karbidu křemíku či syntetického diamantu a podobně. Zabudovat do povlaku můžeme i teflon.[7]

2.5 Základní vlastnosti vyloučených povlaků

2.5.1 Magnetismus

Za nemagnetický je považován bezproudý niklový povlak, který má po vyloučení více než 8% P. Koercivita – (síla bránící silám magnetizace) povlaku s obsahem 7% až 8,6% je uváděna 1,4 až 2 Oerstedy (to jsou jednotky intenzity magnetického pole). Když je obsah P 3,5% má hodnotu povlak 30 Oerstedu. Když je fosforu víc jak 10% je už povlak nemagnetický. Dalším tepelným zpracováním se zas magnetismus povlaku zvyšuje.[7]

2.5.2 Elektrická rezistivita

Elektrická rezistivita metalurgicky čistého niklu je 6,05 mikroohmu na centimetr. Když povlaky obsahují 6 až 7% fosforu mají po vyloučení měrný odpor 52 – 68 mikroohmu na centimetr. Když obsahují 2,2 % fosforu je jejich elektrická rezistivita 30 mikroohmu na centimetr. Nejvyšší rezistivitu mají povlaky s 13% fosforu 110 mikroohmu na centimetr. Elektrická rezistivita se snižuje zase tepelným zpracováním.[7]

2.5.3 Pájitelnost a svařitelnost

Jsou snadno pájitelné jenom s vysoce aktivovanými kyselými prostředky na pájení. Hlavně to platí pro povlaky ještě navíc tepelně upravovanými. Povlak nikl - fosfor se běžně nesvařuje. Když se svar ochlazuje dochází pak k pohybu fosforu na hranicích zrn. Potom takový svar vůbec není pevný a výsledek neodpovídá požadavkům.[7]

2.5.4 Adhese - přilnavost

Na různé materiály jako je ocel, hliník, měď i měděné slitiny můžeme dosáhnout velmi vysoké přilnavosti bezproudým niklováním. [7]

Pevnost spoje pro železo i měděné slitiny je 345 až 441 MPa. Lehké kovy, jako hliník, titan, nebo jejich slitiny mají pevnost menší 103 až 241 MPa. Pokud ještě tyto lehké kovy zpracujeme dostaneme též zvýšenou pevnost spojů. Je to výsledek samovolného pronikání molekul z oblasti vyšší koncentrace do oblasti nižší koncentrace částic, tedy atomů základního materiálu a povlaku – difuze. [7]

2.5.5 Tloušťka povlaků

Je možno docílit široké rozpětí tlouštěk povlaků při výrobě. Povlaky vykazují téměř stejnou tloušťku po celém povrchu. To je rozdíl mezi povlaky bezproudými a povlaky vytvářeny galvanicky.[7]

2.5.6 Lesk povlaků

Nejvíce ovlivňujeme složením lázně a drsností povrchu. Abychom dosáhli kvalitního lesklého povrchu musí být povrch materiálu velmi dobře opracovaný a očištěný a nesmí být na něm žádné povrchové vady jako na příklad vrypy, okuje apod. Aby nám na povlaku nevznikaly nežádoucí skvrny (fleký), tak musíme dbát na to aby byl materiál před povlakováním dobře odmaštěn. [7]

2.6 Vlastnosti povlaků Ni-P v závislosti na obsahu fosforu

Obsah fosforu: 1 až 4% je výborná pájitelnost, je magnetický, dobrá odolnost proti korozi v alkalickém prostředí, v kyselém prostředí má odolnost špatnou. [7]

Obsah fosforu 5 až 7% odolává dobře ve středně korozním prostředí, je slabě magnetický. [7]

Obsah fosforu 9 až 12% v kyselém prostředí velmi dobře odolává korozi a výborně v alkalickém prostředí. Má velmi nízkou rychlost vylučování a je nemagnetický. [7]

Porovnání některých vlastností bezproudově vyloučených vrstev Ni a galvanicky vyloučených:

Tab.1: Srovnání vlastností bezproudově a galvanicky vyloučených vrstev Ni

Fyzikální vlastnosti	Bezprůdý Ni	Galvanický Ni
Hustota [g.cm ⁻³]	7,85	8,8
Teplota tání [°C]	890	1450
Měrný odpor [mW.cm ⁻¹]	60	8,5
Magnetická susceptibilita [%]	4	37,5

3 Dělení galvanických lázní – primární lázněvé složky

Galvanické lázně dělíme na lázně kyselé ($\text{pH} < 7$) a na lázně zásadité ($\text{pH} > 7$). Dle druhu lázně označujeme na lázně síranové, lázně chloridové, lázně kyanidové, lázně pyrofosforečnanové, lázně polychromanové a podobně. Dle vzhledu povrchu rozdělujeme lázně na matné, pololesklé a lesklé.

- Primární lázněvé složky
- Soli mající vyloučený kov
- Látky, které ovlivňují rozpustnost anod
- Látky působící na průběh katodových dějů
- V lázních se vyskytují různé nečistoty, které je poškozují
- Látky, které vznikají při rozkladu původních sloučenin
- Látky zvyšující vodivost lázně
- Látky, které zkvalitňují tvorbu lesku[1]

3.1 Soli obsahující vyloučený kov

Nejčastěji používáme sloučeniny pro galvanické lázně jsou sírany a chloridy. Používají se také roztoky anorganických komplexních solí, jako fluoroboritanu, fluorokřemičitanu a pyrofosforečnanu. [1]

3.1.1 Fluoroboritany se používají v těchto lázních

Fluorokřemičitany, odvozené od kyseliny fluorokřemičité H_2SiF_6 , pyrofosforečnany, odvozené od kyseliny $\text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ se používají:

- pro mědění, fluoroboritan měďnatý
- pro zinkování, fluoroboritan zinečnatý
- pro niklování, fluoroboritan nikelnatý
- pro mědění, pyrofosforečnan měďnatý
- pro zinkování, pyrofosforečnan zinečnatý

Protože ve vodě nejsou rozpustné jednoduché kovové kyanidy (mědný, zinečnatý, kademný, stříbrný) musíme je rozpouštět v přebytku alkalických kyanidů na komplexní kyanidy.[1]

Složky kyanidových lázní a to jak kyanidy tak alkalické hydroxidy jsou nestálé. Mění se absorpci kyslíčnicku uhličitého na alkalické uhličitany (soda, potaš) a uvolňuje se kyselina kyanovodíková.[1]

3.2 Látky působící na rozpustnost anod

Vylučování množství kovů na katodě je v lázni doplněno rozpouštěním kovu z anody. Rozpouštění anod v kyanidových lázních podporuje volný, případně veškerý kyanid (kyanid sodný, nebo draselný). Není-li v lázni dostatek volného kyanidu, vytváří se nerozpustné sloučeniny na anodě, které zabraňují doplňování kovu do roztoku. Rozpustnost kyselých lázní podporuje volná kyselina, například v kysele mědicí lázni – kyselina sírová. Soli některých kyselin se mění v chloridy v niklovací lázni. Uvedené látky snižují anodovou polarizaci – jsou to anodové depolarizátory. [1]

3.3 Látky působící na průběh katodových dějů

Tvorbu malých krystalů povlaků ovlivňují tak zvané lesku tvorné přísady. Vlivem velké povrchové aktivity se absorbují na povrchu kovů, přerušuje se tak další růst krystalů. Vybíjením iontů se vytváří na katodě stále nová krystalická jádra. Velké množství krystalových jader vzniklých rychle, zpomaluje růst krystalů. Leskutvorné přísady ve větším množství škodí tím, že dochází k vylučování kovu na vrstvě přidaných látek a vznikají tak povlaky s vysokou úrovní zbytkového napětí.

Leskutvorné přísady mají být stálé, nemají se rozrušovat ani zvýšenou teplotou, ani elektrickým proudem. V lázních niklovacích, mědicích a podobně, dochází k současnému vylučování vodíku s kovem. Odstranění této závady zabráníme přidáváním smáčedla.[1]

3.4 V lázních se vyskytují různé nečistoty, které je poškozují

Různé nečistoty do pokovovacích roztoků se dostávají oplachem pokovených předmětů při rozpouštění chemikálií z anod, nebo jiným znečištěním. Nečistoty mohou být organické a anorganické, v lázních rozpustné, nebo nerozpustné. Procesu vylučování na katodě se mohou zúčastnit rozpustné látky, zatímco nerozpustné látky se při rozvíření usazují na pokovovaných předmětech a způsobují hrubé povlaky. Filtrací tyto nečistoty odstraňujeme.[1]

3.5 Příprava a kontrola galvanických lázní

V přípravné vaně rozpustíme chemikálie a to v určeném, daném pořadí. Předem musíme vypočítat též množství určených chemikálií pro daný objem lázní.

Zvýšení teploty urychlí rozpouštění, též mícháme míchačkami anebo vzduchem. Potom filtrujeme a analýzou provádíme zkoušku jednotlivých chemikálií.

- Analýza složek lázně
- Laboratorní empirické zkoušky v malých vaničkách – metoda Hullova
- Vzhled materiálů před pokovením a po něm
- Kontrola pracovních podmínek lázně[1]

4 Černění

Černění, nebo-li brunýrování je obvyklým způsobem barvení ocelových výrobků pro dekorativní a částečně pro antikorozní účely. Černíme například optické přístroje, bižuterii, lovecké zbraně apod. [8]

Na povrchu materiálu se vytváří tenký oxidický povlak modročerné až černé barvy. Podstatou povrchové úpravy černěním je vznik oxidu železitého. Aby povlak měl požadované optické a mechanické vlastnosti, musí být základní materiál velmi dobře opracován a očištěn. Čím jemněji je materiál opracován, tím je výsledný efekt kvalitnější a lesklejší. [8]

Materiál určený k černění musí mít kovově čistý povrch bez rzi, okují a mastnot, které by mohly zapříčinit tvorbu skvrn. Povlak kopíruje nerovnosti materiálu, jako jsou například vrypy, škrábance a lokální drsnost. V případě požadavku lesklého povlaku je dobré díly předem mechanicky vyleštit například v omílacích bubnech. Matného vzhledu docílíme zase tím, že povrch materiálu necháme drsný. [8]

Zvýšit korozivzdornost můžeme po dokonalém oplachu pomocí pasivačních přípravků na bázi adsorpčních inhibitorů. Dalšího zvýšení korozní a mechanické odolnosti černého povlaku docílíme jeho impregnací, která se aplikuje po dokonalém vysušení povlaku. Zároveň takto upravený povrch bude černější. Při vyšším obsahu křemíku v oceli se doporučuje upravit povrch před černěním mořením a to v desetiprocentní kyselině fluorovodíkové. [8]



Obr.5 Fréza černěná

5 Metody zkoušení korozivzdornosti

5.1 Expoziční metoda

Základem expoziční metody je vzorky, nebo výrobky vystavit působení různých korozních prostředí. Jsou to většinou dlouhodobé zkoušky. Jak z hlediska zkoušení, tak potom vyhodnocování. Proto obvykle se poznání procesu provádí pomocí modelového řešení, využívá se předstírání různých vlivů, jejich simulací, které jsou nejpravděpodobnější jako vlivy korozních procesů. [3]

Využívaná je vyšší koncentrace prostředí v umělé atmosféře a také zvýšená teplota. Když známe pravděpodobnou rychlost koroze materiálu, můžeme délku prováděného testu určit rovnicí $\tau = 5/v$, kde τ je doba testu v [h], v je korozní rychlost v [mm/rok]. Vztah nebude platit pokud je pasivace, tvorba chemicky odolné vrstvy na neušlechtilých kovech a inhibice je zastavení procesu.[3]

5.1.1 Všeobecné zásady pro provádění expozičních metod

Vše se řídí normou ČSN ISO 11 845. Jsou to zkoušky korozní, srovnávací, znamená to, že v daných zkušebních podmínkách porovnáváme určité materiály, nebo korozní prostředí. Průběh zkoušek se zaznamenává v čase a stupni napadení. Je nutné zapsat mimo výchozího stavu i další nejméně tři časy v celém průběhu napadení koroze. [3]

Norma předepisuje aspoň tři zkušební vzorky, protože výsledky mohou mít velký rozdíl. Za hodnotu výslednou se považuje průměr ze všech těchto měření. Jestliže chceme závazné relevantní výsledky, používáme minimálně šest zkušebních vzorků. [3]

Pokud chceme zkoušky odolnosti oproti atmosférické korozi musíme se snažit přesně napodobit podmínky, ve kterých budou materiál a výrobky z něj používány. [3]

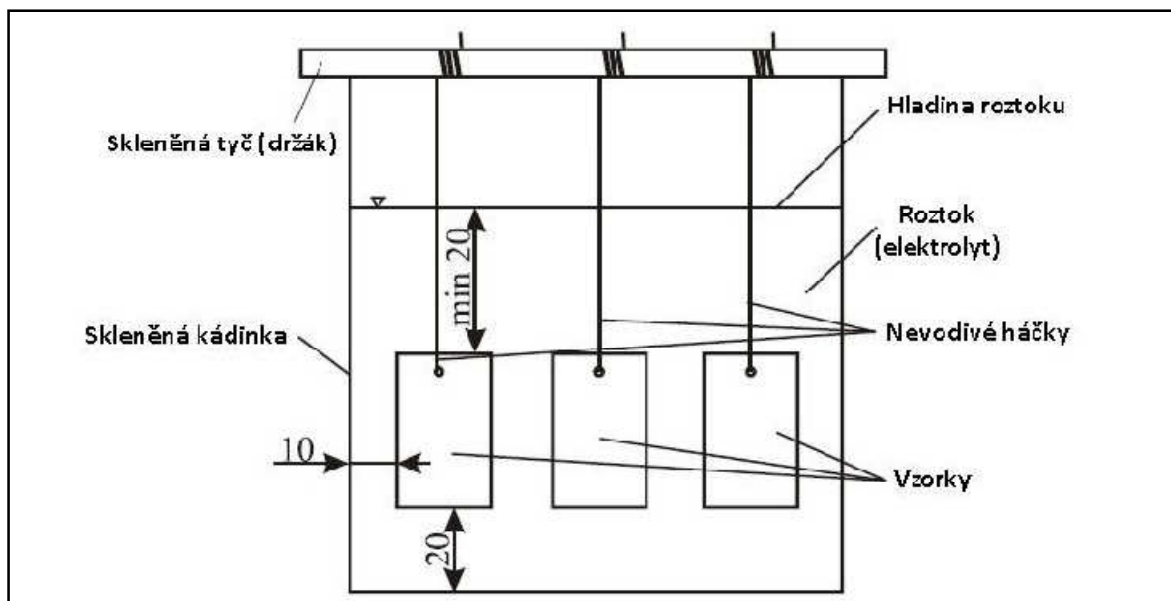
Cílem krátkodobých zkoušek je získávání v co nejkratším čase použitelné výsledky. Tyto zkoušky se dělají při zvýšené teplotě, nebo větší koncentraci korozního prostředí, ale nejsou tak závazné a nelze je uplatnit jako informace o odolnosti materiálů a výrobků proti korozi v praxi.[3]

5.1.2 Zkouška úplným ponorem

Zkouška úplným ponorem je jednou z jednodušších expozičních metod pro zjištění odolnosti různých materiálů v různých prostředích. Do zkušebního prostředí pak ponoříme přesně identifikovaný vzorek, kde je stanovena a určena exponovaná plocha. Například na skleněné háčky, nebo na jiné nevodivé materiály jsou testovací vzorky zavěšeny, aby se vzájemně neovlivnily při korozních procesech. Také vzdálenosti jsou velmi důležité. [3]

Obyčejně nesmí být mezi vzorky, od okrajů nádoby, menší vzdálenost než 20mm, zrovna tak ode dna. Hladina musí být nad vzorky rovněž asi 20mm a nesmí se míchat různé materiály zkoušených vzorků, to znamená umístit v nádobě pouze vzorky jednoho materiálu, jednoho povlaku, který je rovněž na stejném podkladovém materiálu. [3]

Po expozici, která se doporučuje 4,8,16 nebo 32 dnů se vzorek z korozního prostředí vybere a musí se opláchnout. Nejprve oplachujeme obyčejnou pitnou vodou, potom oplachujeme destilovanou vodou. Pokud na vzorku zůstanou nějaké korozní zplodiny, zbytky, dáme jej do vysušovače – exsikátoru. [3]



Obr. 6 Schematické znázornění umístění vzorků v průběhu ponorové zkoušky[3]

5.2 Zkouška v korozní komoře

Zkoušky jsou řízeny normou ČSN EN ISO 9227. Stanovuje se zde jaké přístroje, chemikálie a jaký postup použít pro následující zkoušky.

- Mlha neutrálního roztoku chloridu sodného (NSS)
- Mlha okyseleného roztoku chloridu sodného (AASS)
- Mlha okyseleného chloridu sodného a chloridu měďnatého (CASS)

Úroveň kvality všech zkoušených kovových materiálů, jak s antikorozi ochranou tak bez ní, nám zajišťuje zkouška solnou mlhou. Pro rychlé zjištění nespojitosti porů a defektů organických i anorganických, všech povrchových úprav, je u povlakových materiálů nejvíce vhodná zkouška solnou mlhou. Ovšem nemůžeme tyto zkoušky použít pro vzájemné porovnání z hlediska korozní úrovně mezi různými materiály.[3]

5.2.1 Zkušební zařízení

K zajištění podmínek stejnorodých (homogenních), též rovnoměrné rozprášení solné mlhy, musí mít zkušební zařízení objem nejméně $0,4 \text{ m}^3$. Přitom konstrukce horní části komory musí být taková, aby kapky sráženého roztoku nestékaly na ostatní vzorky. Korozní komora firmy Angelantoni industrie je znázorněna na Obr. 4. [3]

5.2.2 Zkušební roztok

V deionizované nebo destilované vodě, připravíme zkušební roztok chloridu sodného, aby byl v koncentraci $50 \text{ g/l} \pm 5 \text{ g/l}$. Připravovaný roztok pak musí mít při teplotě $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$ hodnotu pH 6,0 až 7,0. [3]

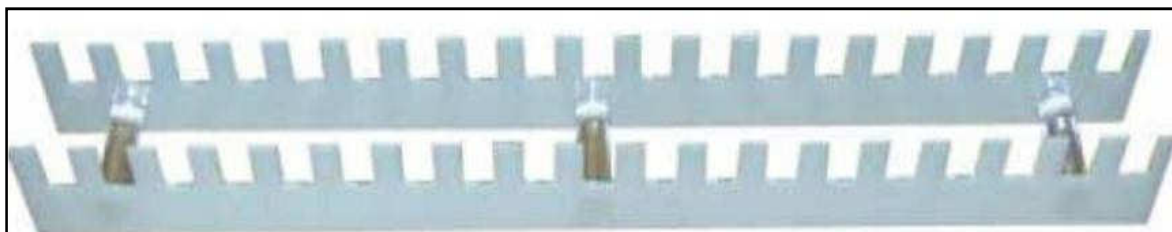
Zkouška prováděná v mlze chloridem sodným (NSS), který je neutrální, se pH roztoku upraví tak, aby hodnota roztoku byla 6,5 až 7,2 při teplotě $25 \text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$. [3]



Obr.7 Korozní komora Angelantoni DCTC 600 OP [3]

5.2.3 Zkušební vzorky

Tvary a rozměry zkušebních vzorků musí být specifikované a musí být rozmístěny ve zkušební komoře tak, aby na ně nebylo přímé proudění postřiku z rozprašovače. Nesmí rovněž přijít do styku s vnitřkem komory. Musí být však vystaveny volnému přístupu rozprašované mlhy. Obr. 5 vidíme stojan na zkušební vzorky.[3]



Obr.8 Stojan na ustavení zkušebních vzorků [3]

5.2.4 Doba trvání zkoušky

Pro každý materiál nebo výrobek je určen čas specifikovaný pro danou zkoušku. Doporučené trvání bývá 2h, 6h, 24h, 48h, 96h, 168h, 240h, 248h, 720h a 1000h. Pokud se určí doba zkoušky, nesmí se po tuto dobu rozprašování přerušit. Snad jen krátkodobé otevření pro vizuální kontrolu, nebo doplnění zásobníku roztoku, pokud není plnění mimo komoru. [3]

Až uplyne doba expozice, která byla stanovena, vyndáme vzorky a odstraníme z nich korozní zplodiny jak mechanickým tak chemických čištěním podle ČSN ISO 8407. Úbytek způsobený odstraněním korozních zplodin stanovíme zvážením vzorků před zkouškou a potom po zkoušce a to s přesností na 0,1mg. [3]

5.3 Zkouška v kondenzační komoře

Zkouška je normalizována ČSN 03 8131. Posuzujeme v ní odolnost kovových materiálů a ochranných povlaků jak v průmyslově nečistých prostředích tak i jen ve vlhkých nebo i čistých prostředích. Zjišťujeme odolnosti proti atmosférické korozi různých materiálů, výrobků z nich a jejich součástí. Působení na zejména kovové části, nechráněné povrchovou úpravou nebo s povrchovou úpravou. V komoře vystavujeme vzorek rozhodujícím činitelům atmosférické koroze. Za zvýšené teploty vodních par, případně za působení zároveň oxidem siřičitým. [3]

5.3.1 Zkušební zařízení

Zařízení na zkoušení není normalizováno, nesmí však být z materiálů korodujících. Také nesmí kapat kondenzovaná voda ze stěn na vzorky. Musí tam být též zahřívací systém s kontrolou teplot, nějaký ventilátor a zařízení na sběr kondenzované kapaliny. Obr. 6 zařízení od firmy Köehler.[3]

5.3.2 Zkušební prostředí

Zkušební prostředí je upraveno tak, aby zkušební prostor měl teplotu $35\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ při relativní vlhkosti 100 %. Potom se tam ještě při zkouškách 2x denně vhání oxid siřičitý jehož koncentrace je 0,007 až 0,008 obj. %. Čas po který zkouška trvá se vybere z řady 1, 2, 3, 7, 10, 14, 16, 21, 28 dnů a násobíme je sedmi dny.[3]



***Obr.9** Kondenzační komora firmy Köehler[3]*

5.3.3 Zkušební vzorky

Zkušební vzorky musí být rozvěšeny v komoře ve speciálních stojanech a ty musí být z materiálů, který neohrozí korozní děj vzorků. Sledované vzorky se též nesmí dotýkat a rovněž kapky sražené páry nesmí stékat z jednoho vzorku na jiný. Než je vložíme do komory, uložíme je po dobu jedné hodiny do místnosti, kde je teplota $20\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ a stupeň vlhkosti $65 \pm 5\%$. [3]

6 Návrh metodiky experimentálních prací

6.1 Popis experimentálních materiálů

K zadaným pracem byly poskytnuty vzorky fréz, které byly chemicky povlakovány a to:

- chemickým niklováním (63A06R-S90LN12-C)
- chemickým niklováním s dodatečným vytvrzením (32A3R042B32-SLN12-C)
- chemickým niklováním s teflonovou úpravou (80A60R-S45HN09C-C)
- černěním (20E2R120B25-SRD10)

Tyto vzorky byly odzkoušeny:

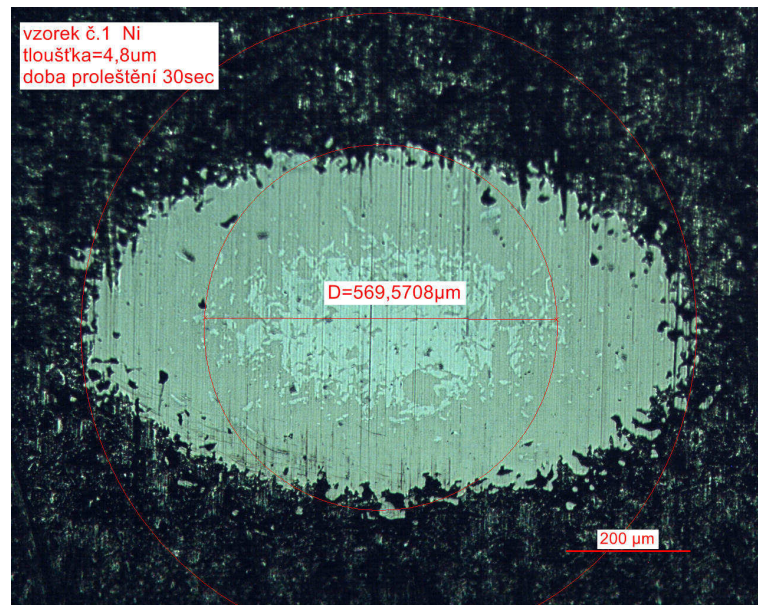
- na otěruvzdornost
- na odolnost proti korozi

6.1.1 Zkouška otěruvzdornosti kalotestem

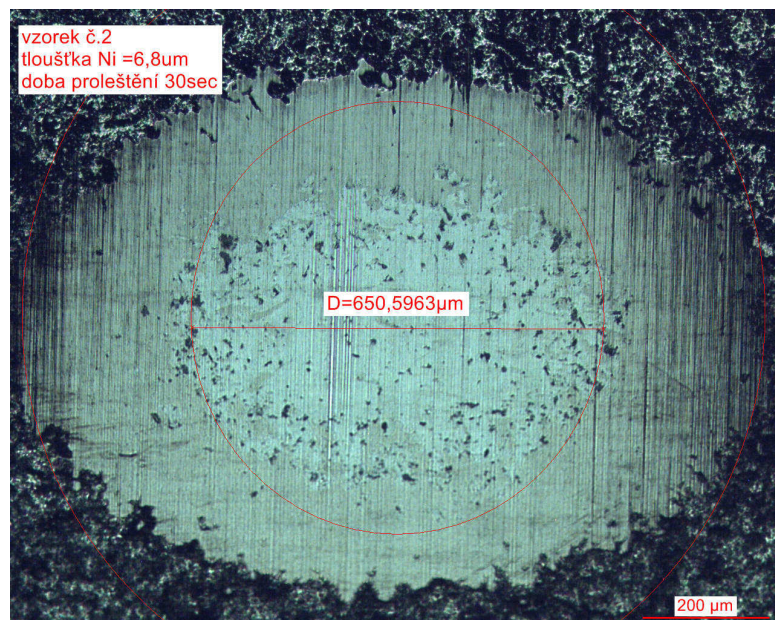
Principem kalotestu je vybroušení kulového vrchlíku, který se jeví na průměru jako mezikruží. K výbrusu se používá obvykle ocelová kulička o průměru 25 milimetrů, která se potírá diamantovou brusnou pastou, případně potřená pouze destilovanou vodou. Proměříme - li průměr důlku, lze získat rozměry umožňující vypočítat tloušťku posuzované vrstvy.[9]

Oblast použití je široká od 1 do 100 mikrometru s přesností dvě až čtyři procenta. Při vyhodnocování kaloty je vyžadována maximální drsnost povrchu povlaku $Ra = 0,4 \text{ um}$. Pokud povlak nemá vyhovující drsnost, záměrně vyleštíme plošku na substrátu před depozicí. Touto metodou můžeme měřit i tloušťky jednotlivých složek sendvičových vrstevnatých struktur.[9]

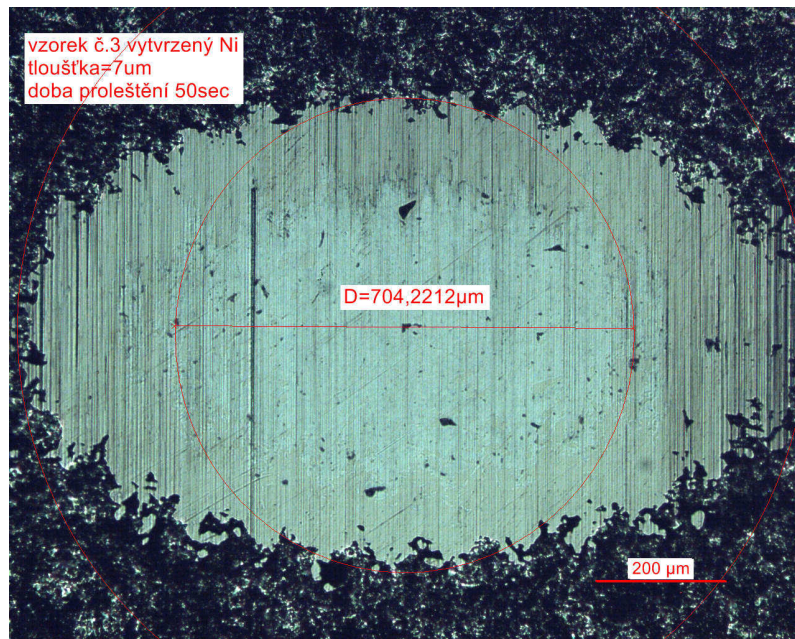
Pomocí kalotestu byla orientačně určena otěruvzdornost jednotlivých povlaků a to tak, že se stanovil čas 30s, po který bude ocelová kulička vybrušovat povlakovanou vrstvu. Potom se pod mikroskopem změří průměr vybroušeného vrchlíku a dle něj se určí, který z povlaků nejlépe bude odolávat otěru.

Fotodokumentace kalotestu

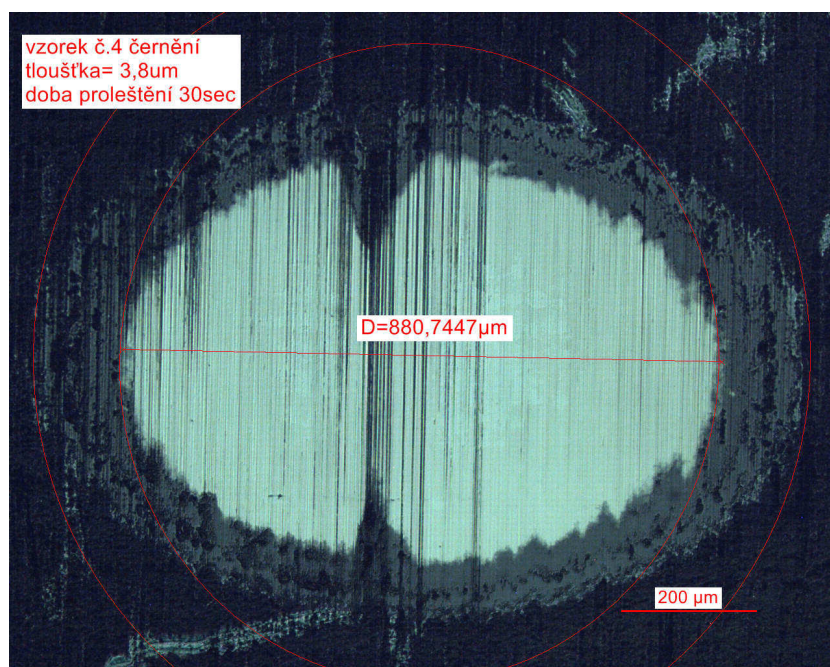
Obr.10 Fotodokumentace výsledku kalotestu na fréze niklované s teflonovou úpravou



Obr.11 Fotodokumentace výsledku kalotestu na fréze niklované



Obr.12 Fotodokumentace výsledku kalotestu na fréze niklované s vytvrzením



Obr.13 Fotodokumentace výsledku kalotestu na fréze černěné

S naměřených výsledků je jednoznačné, že nejlépe odolávající otěru je fréza niklovaná s dodatečným vytvrzením (viz. Obr.9), protože po padesáti vteřinách byla naměřena pod mikroskopem kružnice o průměru $D = 704,2212$ mikrometru. Nejhorší v testu dopadla fréza černěná, kde už po třiceti vteřinách byl naměřen průměr $D = 880,7447$ mikrometru.

6.2.1 Korozní zkouška povlaků dle ČSN EN ISO 9227

Korozní zkouška byla zrealizována v solné korozní komoře LIEBISCH S400 M-TR. Solné korozní komory představují jeden z nejmodernějších a nejvšestrannějších systémů pro hodnocení korozní odolnosti. Zkouška byla provedena v souladu s ČSN EN ISO 9227.



Obr. 14 Korozní komora Liebis S400 M-TR

Provozní podmínky solné komory LIEBISCH S400 M-TR:

- Tlak vzduchu $3 \div 4$ bar
- Tlak vody $2,5 \div 3$ bar
- Průtok vody $0,45$ l/hod
- Teplota prostředí 35 ± 2 °C
- Teplota navlhčovače 55 °C
- Vlhkost 100 %
- Solná mlha - 5 % neutrální vodný roztok NaCl

Do korozní komory byly vloženy celkem 4 vzorky chemicky povlakovaných fréz a to:

- Fréza černěná (20E2R120B25-SRD10)
- Fréza niklovaná (63A06R-S90LN12-C)
- Fréza niklovaná vytvrzená (32A3R042B32-SLN12-C)
- Fréza s nikl-teflonovou úpravou (80A60R-S45HN09C-C)

Tyto vzorky byly po cyklech 0,4,8,16 hodin sledovány a fotograficky dokumentovány viz níže.

Fotodokumentace vzorků před vložením do korozní komory



Obr.15 Fotodokumentace frézy černěné 0h expozice v korozní komoře



Obr.16 Fotodokumentace frézy niklované s vytvrzením 0h expozice v korozní komoře



Obr.17 Fotodokumentace frézy niklované s teflonovou úpravou 0h expozice v korozní komoře



Obr.18 Fotodokumentace frézy niklované 0h expozice v korozní komoře

Frézy byly vyjmuty po šestnácti hodinách testování a to proto, že na nich bylo zpozorováno už značné zkorodování. Pouze fréza niklovaná nevykazovala rozsáhlé známky koroze, proto byla dále testována až po dobu 120 hodin.

Fotodokumentace vzorků po šestnácti hodinách expozice v korozní komoře

Obr.19 Fotodokumentace frézy černěné po 16h expozice v korozní komoře



Obr.20 Fotodokumentace frézy niklované s vytvrzením po 16h. expozice v korozní komoře



Obr.21 Fotodokumentace frézy niklované s teflonovou úpravou po 16h. expozice v korozní komoře



Obr.22 Fotodokumentace frézy niklované po 16h. expozice v korozní komoře

Niklovaná fréza byla dále testována a to po dobu 120h. I po sto dvaceti hodinách niklovaná fréza byla téměř bez korozního napadení. Jediné místo, které bylo náchylné na zkorodování bylo laserem vypálené logo firmy a obchodní značka frézy.



Obr.23 Fotodokumentace zkorodovaného loga firmy na niklované fréze po 120h. expozice v korozní komoře



Obr.24 Fotodokumentace frézy niklované po 120h. expozice v korozní komoře

S dosažených výsledků je jednoznačné, že nejlepší korozní odolnost vykazoval vzorek frézy s niklovanou vrstvou (Obr.19), který zkorodoval pouze na místě vypálené obchodní značky. Nejhorší dopadl vzorek s teflonovou úpravou (Obr.18), na kterém můžeme pozorovat korozi i v hlubších vrstvách materiálů.

7 Závěrečné zhodnocení práce

7.1 Technicko ekonomické zhodnocení

Tato část bakalářské práce se zaměřuje na technologicko ekonomické zhodnocení obou technologií povlakování a to metodu chemickou a metodu PVD.

7.1.1 Výhody Chemického povlakování

- Malá teplota lázně maximálně do 100 °C, nedochází k tepelnému porušení základního materiálu
- Malá energetická náročnost oproti metodě PVD.
- Možnost povlakovat velké množství výrobků zároveň.
- Možnost nanášení větších tloušťek povlaků než u PVD metody.
- Nižší cena oproti PVD z důvodů menší energetické náročnosti a možnosti povlakovat velké množství výrobků zároveň.

7.1.2 Nevýhody Chemického povlakování

- Je nutné mít velké prostory pro vanovou linku.
- Nutnost neustálé filtrace povlakovacích roztoků.
- Galvanická metoda je méně šetrná k životnímu prostředí, musíme ekologicky likvidovat lázně.
- Materiál, který chceme povlakovat musí být dokonale zbaven nečistot, abychom případnými nečistotami nezneškodnotili, případně nezničili povlakovací lázeň.
- Menší tvrdost povlaku oproti PVD metodě a to 500 – 1000 HV, záleží na složkách lázně.
- Špatné nanášení povlaků na obtížně dostupná místa na součásti.

7.1.3 Výhody PVD povlakování

- Tvrdost povlaku 1200 – 3000 HV.
- Není nutno tak velkých prostor pro povlakovací zařízení.
- Vyšší čistota provozu.
- Dobré nanášení povlaku i na složitě tvarované součásti.
- Konstatní vrstva povlaku.

7.1.4 Nevýhody PVD povlakování

- Vyšší cena oproti Galvanickému povlakování.
- Energetická náročnost, z důvodu vysokých teplot při povlakování 400 až 600 °C.
- Riziko znehodnocení základního materiálu při špatném nastavení povlakovací teploty.
- Nemůžeme povlakovat tak velké množství výrobků jako u Galvanického povlakování, protože povlakovací skříň nedosahuje takových rozměrů.

Jelikož těla fréz nejsou v přímém kontaktu s obráběným materiálem a je nutno je hlavně chránit proti korozi, doporučuji nadále používat k povlakování chemické niklování.

Tato povlakovací metoda obstála výborně při korozních zkouškách, a protože těla fréz nejsou v přímém kontaktu s obráběným materiálem, vyplývá z toho, že při zkouškách otěruvzdornosti povlak obstál dobře a není nutno povlak vytvrzovat. Dále chemické niklování vyhovuje i z hlediska estetického.

Metodou PVD povlakování doporučuji povlakovat pouze vyměnitelné břitové destičky, které mají v dnešní době složité geometrické tvarování a je nutno zajistit u nich konstantní tloušťku povlaku. Dále proto, že jsou v kontaktu s obráběným materiálem a jsou tak vystaveny velkým rázům a třením a PVD povlaky břitovým destičkám výrazně prodlouží životnost, hlavně díky tvrdosti povlaků.

7.2 Resumé

Bakalářská práce pojednává obecně o povlakovacích metodách. V teoretické části jsem se věnoval studii povlaků PVD, chemického niklování a černění. Dále jsem se zmínil o možnostech experimentálního zkoušení korozivzdornosti povlaků.

Cílem bakalářské práce bylo navrhnout metodiku zkoušení povlaků aplikovaných na těla fréz a zhodnotit z hlediska technologicky ekonomického, který z povlaků bude nejlépe vyhovovat.

Povlaky byly odzkoušeny na otěruvzdornost a korozivzdornost. Ze získaných výsledků jsem navrhl jako optimální povlakovací metodu chemické niklování, které nejlépe vyhovuje požadovaným účelům, a to odolnosti proti korozi, odolnosti proti otěru a účelu estetickému.

V závěru práce jsem se věnoval technologicky ekonomickému zhodnocení, kde můžeme porovnat mezi sebou výhody a nevýhody metod galvanických a metod PVD.

8 Použitá literatura

[1] Miroslav Mohyla. *Technologie povrchových úprav kovových materiálů. Příprava lázní pro galvanické pokovování*. str. 67-68. VŠB-Technická univerzita Ostrava, Ostrava 2006, 3. vydání

[2] Peter Zwez, ZWEZ Produkte für Chemie auf Metal. Technische Information. *Protikorozi ochrana-systém černění neškodící životnímu prostředí*. Negrovit s ochranou proti rozstříku. 2001

[3] Aneta Němcová, Bohumil Pacal. *Korozní zkoušení kovových materiálů*. Ústav materiálových věd a inženýrství Fakulta strojního inženýrství Vysoké učení technické v Brně. Brno 2009

[4] Aleš Jaroš. *Aplikace PVD povlaků pro čelní frézování*. Metoda PVD str 16 až 20. Fakulta strojního inženýrství ústav strojírenské technologie Vysoké učení technické v Brně. Brno 2010

[5] Mohyla, M. *Technologie povrchových úprav kovů*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 2006. 3. vydání. 156 s. ISBN 80 – 248 – 1217 – 7.

[6] Jitka Podjuklová. *Speciální technologie povrchových úprav I*. Učební texty VŠB – TU Ostrava, 1994. 1. vydání. 71 s. ISBN 80 – 7078 – 235 – 8.

Elektronické zdroje

[7] Lubomír Brokeš – BROGAL [online]. 2012 [cit. 11-2-2011]. Dostupné z WWW: <<http://www.brogal.cz/Home/chemicke-niklovani>>

[8] PRAGOCHEMA [online].2012 [cit. 1-4-2012]. *Přípravky pro černění* Dostupné z WWW: *oceli*<www.pragochema.cz>

[9] Fakulta Strojní ZČU v Plzni – Ateam [online]. 2012 [cit. 15-4-2012]. *Kalotest – charakteristika činnosti*. Dostupné z WWW: <<http://www.ateam.zcu.cz/kalotest.html>>

Příloha č.1

Fotodokumentace těl fréz při korozní zkoušce



Obr. 1 Fotodokumentace černěné frézy po 0h, 4h a 16h expozice v korozní komoře.



Obr. 2 Fotodokumentace frézy niklované s vytvrzením po 0h, 4h a 16h expozice v korozní komoře.



Obr. 3 Fotodokumentace frézy niklované s teflonovou úpravou po 0h, 4h a 16h expozice v korozní komoře.



Obr. 4 Fotodokumentace frézy niklované po 0h, 4h, a 16h expozice v korozní komoře.